

ゾウリムシの遊泳行動に対する外部電場の効果

鈴木 啓介 (筑波大学 生物学類) 指導教員: 大網 一則 (筑波大学 生命環境系)

導入

動物は外界の物理的、化学的環境を刺激として受け取り、生存にとって意味のある動き、即ち、行動反応をしめす。

ゾウリムシは多数の繊毛を使い水中を活発に遊泳する単細胞生物である。単純な体制をもつが、他の動物と同様、外界の様々な刺激に対して行動反応を示す。例えば、ある種の化学物質を含む溶液に遭遇したゾウリムシはその中に入るか、あるいは、そこを避ける行動をとる。これらは、正または負の化学集合と呼ばれる。化学集合は、ゾウリムシが有益な化学環境に集まり、有害な化学環境を避ける生理的な反応である。一方、ゾウリムシは外部に与えた電場に対しても行動反応を示し、陰極に向かい遊泳することが知られている。電気走性と呼ばれるこの反応は、外部電場による、ゾウリムシの膜電位に対する物理的影響が原因である。

私は、外部電場による物理的影響下で、ゾウリムシの生理的な集合反応がどのような影響を受けるのかに興味を持った。この実験では、はじめに、ゾウリムシの電気走性の性質について詳細に調べ、次に、外部電場の存在下で、生理的な化学集合がどのようなものかを調べることを目的とした。

材料・方法

実験に用いたゾウリムシ(*Paramecium caudatum*)は麦藁の抽出液によって培養した。1週間培養して、早期定常期に入ったゾウリムシを標準溶液(1 mM KCl, 1 mM CaCl₂, 1 mM Tris-HCl pH7.4)で洗浄した後に実験に用いた。

ゾウリムシの電気走性は以下の方法により調べた。ゾウリムシを含んだ標準溶液を実験槽内(長さ20 mm、幅5 mm、厚さ1 mm)に満たし、その両端に塩橋を介して銀—塩化銀電極を置いた。これらの電極を通して電気刺激装置(日本光電 SEN-3301)から電圧をかけて実験槽に電場をかけた。実験は暗視野照明、実体顕微鏡下で行った。ゾウリムシの行動反応はビデオカメラで30秒間記録して解析した。

ゾウリムシの化学集合を調べる実験槽は電気走性を調べるものと同じものを用いた。化学集合を調べる時には、この実験槽の中央で2種類の組成の異なる溶液が接するようにした。今後この実験槽でゾウリムシの分布や行動反応を調べる予定である。

結果

(1) 初めに外部電場によって実験槽内におけるゾウリムシの分布がどのように変化するかを観察した。実験槽中に均一に分布していたゾウリムシは、電場を与えると速やかに陰極方向に遊泳方向を変え、陰極側に向かって移動した。その結果、ゾウリムシは時間とともに、陰極側に集まった。

電気走性時のゾウリムシの分布を定量的に調べるために、実験槽の観察区域を電場の向きに沿って8つに分割し(陽極側から①～⑧とする)ゾウリムシの分布を時間を追って観察した。陽極側半分区域では、ゾウリムシの個体数は時間経過とともに顕著に減少していった。逆に、最も陰極側(⑧)ではゾウリムシの個体

数が顕著に増加し、そのとなりの区画(⑦)でも個体数の増加が見られた。中間の⑤と⑥では若干、個体数が減少した。

次に、ゾウリムシの電気走性に対する、外部電場の強さの効果について調べた。今回与えた電圧範囲(0V～100V)では、ゾウリムシはいずれの強さでも、陰極側に集まる行動反応を示した。ゾウリムシの陰極側への集中は与えた電場が強くなるに従い短時間で生じるようになったが、更に電場が強くなると(10V以上)一定になった。

次に外部電場の強さとゾウリムシの遊泳速度の関係について調べた。ゾウリムシの遊泳速度は与えた電場の強さの変化に対してほとんど変化しなかった。

同様に、外部電場の強さと遊泳方向が変化するまでの時間の関係を調べた。ゾウリムシは電圧が強いほど短時間で陰極を向いた。

考察

この実験から、与えた外部電場によりゾウリムシの分布が陰極側に集中する(電気走性)ことが確認された。電気走性の原因は、通常ランダムであるゾウリムシの遊泳方向が、陰極方向に偏ることにある。このゾウリムシの遊泳方向の定位はゾウリムシの膜の、陰極側の脱分極と陽極側の過分極により生じる。ゾウリムシの陽極側の繊毛は過分極により繊毛打強化を示し、陰極側の繊毛は逆に脱分極により繊毛逆転を示す。これら、部分的に異なる繊毛の反応により、ゾウリムシはどの方向に遊泳していても、最終的に陰極側を向くことになる。方向が決まり、電場中で陰極に向かっているゾウリムシにおいても、陽極側(後方)の繊毛では繊毛打強化反応が、陰極側(前方)では繊毛逆転が生じている。これらの繊毛により生じる力は全く逆方向に作用するが、前進を促す陽極側の繊毛運動が勝るためにゾウリムシは陰極方向に向かう。部分的にせよ、このような細胞の進行方向に逆らった繊毛打は生理的な反応ではほとんど見られない。これが、ゾウリムシの電気走性が物理的な側面に依存しているとされる所以である。

単純な生物の分布を決定する遊泳行動には走性と集合という、異なるメカニズムの存在が知られる。走性とは、刺激(あるいは刺激の強さ)の方向に依存した行動反応であり、一方、集合は二種類の異なる環境の境界での行動反応が主な原因で生じる。ゾウリムシの分布の偏りをもたらすメカニズムとしては、これまで、物理的な電気走性の他には方向性をもった走性行動は知られておらず、生理的な分布の偏りは集合反応によるとされている。ゾウリムシが化学集合を示す際には、化学環境の異なる境界部に到達したゾウリムシが、その先端部分が局所的に異なる環境に置かれるため、細胞の部域により異なる環境が生じ、部分的に不均一な繊毛運動が生じる可能性がある。このような、ゾウリムシの生理的な集合反応に対して、繊毛運動に物理的な影響を与える外部電場がどのように作用するかは大変興味を持たれる。今後、これらの疑問を解明するために、化学刺激と外部電場の関係をより詳細に調べてゆく所存である。